

BCl₃를 이용한 GaN계 질화합물 반도체의 RIE에 관한 연구

윤관기*, 최용석**, 이일형*, 유순재**, 이진구*, 김송강***

* 동국대학교 전자공학과, 서울, 100-715

** 선문대학교 전자공학과, 아산, 336-840

*** 현대전자 시스템 IC 연구소, 이천, 467-701

Studies on Reactive Ion Etching of GaN using BCl₃

K.K.Youn*, Y.S.Choi**, I.H.Lee*, S.J.Yu**, J.K.Rhee*, S.K.Kim***

* Dept. of Electronics Eng., Dongguk Univ.

** Dept. of Electronics Eng., Sunmoon Univ.

*** Hyundai Electronics Industry

요 약

BCl₃ 및 Cl₂ 반응가스를 사용하여 RIE 장치로 GaN의 건식식각을 연구하였다. RF 전력, 반응가스의 유량 및 반응가스의 혼합비 등의 변화에 따른 최적의 식각공정 조건 및 결합특성을 연구하였다.

RF 전력에 따른 GaN의 식각율은 챔버압력 25 mTorr, BCl₃ 유량 40 sccm의 조건에서 RF 전력이 100 W일 때 17 nm/min을 얻었다. BCl₃의 유량에 따른 식각율은 RF 전력 100 W, 챔버압력 20 mTorr, Cl₂ 유량 5 sccm의 조건에서 BCl₃ 유량이 40 sccm일 때 65nm/min을 얻었다. Cl₂/BCl₃ 혼합가스 비율에 따른 식각율은 Cl₂ 유량을 5 sccm으로 고정하고 BCl₃ 유량을 변화시켰을 때 RF 전력 100 W 및 챔버압력 20 mTorr의 조건에서 혼합비가 0.25일 때 50 nm/min을 얻었다. RF 전력에 따른 PR의 식각율은 챔버압력 25 mTorr, Cl₂ 유량 0 sccm 및 BCl₃ 유량 40 sccm의 조건에서 RF 전력이 100 W일 때 15 nm/min을 얻었다. 또한, 챔버압력 20 mTorr, Cl₂ 유량 5 sccm 및 BCl₃ 유량 20 sccm의 조건에서 RF 전력이 100 W일 때 82 nm/min을 얻었다.

I. 서 론

GaN계 질화합물 반도체를 이용한 LED 및 LD 능

광소자 및 고온 등의 극한 상황에서 동작하는 전자소자의 제작은 안정된 단위공정의 확립이 중요하다. 특히, GaN계 질화합물 반도체는 각종 화학물질에 안정하기 때문에 각종 소자의 식각공정은 기존의 화학물 재료의 습식식각 공정을 그대로 적용하기가 어렵다.[1] 따라서 안정된 건식식각 기술의 개발은 필수적이다. GaN의 건식식각 방법은 RIE(Reactive Ion Etching), ECR(Electron Cyclotron Resonance), CAIBE(Chemically Assisted Ion Beam Etching), 및 MRIE(Magnetron Resonance Ion Etching) 등이 보고되고 있다.[2-3] 또한, 반응가스로는 BCl₃, Cl₂/Ar, Cl₂/H₂/CH₄/Ar, HI/H₂/Ar 및 SiCl₄ 등에 대한 식각기구와 결합 특성 대한 연구 결과가 보고되었다.[4] 그러나 소자 제작 공정에 이용하기 위해서는 아직 많은 문제점을 남아 있으며 특히, 높은 식각율 및 평탄한 비등방성 식각, 결합 생성 및 웨이퍼의 오염문제 등은 해결해야 할 중요한 과제들이다.

본 논문에서는 광소자 및 전자소자의 제작에 이용할 수 있는 GaN계 질화합물 반도체의 RIE 공정 최적화를 연구하였다. RIE 공정 최적화를 위하여 공정변수 중 RF 전력, BCl₃ 유량 및 Cl₂/BCl₃ 혼합비를 변화 시켜 각각의 식각율을 실험하였다. 또한, PR의 식각 실험을 통하여 GaN 웨이퍼 식각을 위한 PR의 두께를 연구하였다.

II. 공정변수에 따른 식각을 변화

각종 공정변수의 변화에 따른 GaN계 질화합물 웨이퍼의 식각을 비교를 위하여 실험에 사용된 GaN계 질화합물 웨이퍼는 ECR-MBE(Electron Cyclotron Resonance Molecular Beam Epitaxy)로 성장시켰다. 에피층은 충분한 식각을 위해서 약 1 μm 두께로 성장시켰다.

모든 공정은 초기진공 5×10^{-6} Torr에서 시작하여, 공정시 반응압력을 조절하였다. 반응가스는 BCl_3 와 Cl_2 의 유량은 0~40 sccm, Cl_2/BCl_3 의 혼합비는 0~0.25, RF 전력은 50~150 W 그리고 챔버압력은 20~25 mTorr의 조건하에서 실험하였다.

첫 번째 실험은 RF 전력 변화에 따른 식각을 변화에 관한 실험으로서 BCl_3 유량은 40 sccm 그리고 챔버압력은 25 mTorr에서 RF 전력을 50, 100 및 150 W로 변화시켜 GaN 웨이퍼의 식각을 실시하였다. 식각 결과를 그림 1에 보였다. 그림 1에서 GaN의 식각율은 RF 전력에 비례하여 선형적으로 증가하였다. RF 전력이 50 W일 때 GaN 식각율은 6 nm/min, RF 전력이 100 W일 때 GaN 식각율은 17 nm/min 그리고 RF 전력 150 W일 때 GaN 식각율은 26 nm/min을 보였다.

두 번째 실험은 BCl_3 유량 변화에 따른 식각율의 변화에 관한 실험으로서 RF 전력은 100 W, 챔버압력은 20 mTorr 그리고 Cl_2 유량은 5 sccm에서 BCl_3 유량을 20, 30, 40 sccm으로 변화시켜 GaN 웨이퍼의 식각을 실시하였다. 식각 결과를 그림 2에 보였다. 그림 2에서 GaN의 식각율은 BCl_3 유량에 비례하여 선형적으로 증가하였다. BCl_3 의 유량이 20 sccm일 때 GaN의 식각율은 50 nm/min, BCl_3 의 유량이 30 sccm일 때 GaN의 식각율은 56 nm/min 그리고 BCl_3 의 유량이 40 sccm일 때 GaN의 식각율은 66 nm/min을 보였다.

세 번째 실험은 Cl_2/BCl_3 의 가스 혼합비에 따른 식각율의 변화에 관한 실험으로서 RF 전력은 100 W, 챔버압력은 20 mTorr 그리고 Cl_2 유량은 5 sccm의 조건하에서 BCl_3 의 유량을 변화시켜 GaN 웨이퍼의 식각을 실시하였다. 식각 결과를 그림 3에 보였다. 그림 3에서 GaN의 식각율은 Cl_2/BCl_3 혼합비에 비례하여 선형적으로 증가하였다. Cl_2/BCl_3 의 혼합비가 0일 때는 Cl_2 의 유량이 0 sccm으

로써 BCl_3 만으로 식각을 실시한 경우이다. 이때의 GaN 식각율은 20 nm/min, Cl_2/BCl_3 의 혼합비가 0.125일 때 GaN의 식각율은 67 nm/min 그리고 Cl_2/BCl_3 의 혼합비가 0.25일 때 GaN의 식각율은 50 nm/min을 보였다. 이러한 결과를 볼 때 식각에 관여하는 플라즈마 이온종은 Cl_2 가스임을 알 수 있다. 식각 실험 결과 Cl_2/BCl_3 의 혼합비에 비례하여 GaN 웨이퍼의 식각율이 증가하다 혼합비 0.15에서 최대의 식각율을 보이고 다시 감소하는 경향을 보였다. 그러나 높은 식각율을 보이는 Cl_2/BCl_3 의 혼합비에서는 GaN 웨이퍼 표면이 뿌옇게 변하여 웨이퍼 특성이 좋지 않은 것으로 사료된다. 따라서 Cl_2/BCl_3 의 혼합비는 많은 보충실험을 통하여 최적의 조건을 확립해야 할 것이다.

네 번째 실험은 RF 전력에 따른 PR의 식각을 변화에 관한 실험을 실시하였다. PR은 RIE에 의해 웨이퍼와 비슷한 식각율을 보이기 때문에 원하는 GaN 식각 패턴을 얻기 위해서는 GaN 웨이퍼의 식각율에 비해 상대적으로 낮은 PR 식각율을 얻을 수 있는 공정조건의 최적화가 필수적이다.

챔버압력은 25 mTorr, Cl_2 유량은 0 sccm 그리고 BCl_3 유량은 40 sccm의 조건에서 RF 전력을 50 및 100 W로 변화시켜 식각을 실시하였다. 실험 결과 RF 전력이 50 W일 때 PR의 식각율은 6 nm/min을 얻었으며, RF 전력이 100 W일 때 PR의 식각율은 15 nm/min을 얻었다.

챔버압력은 25 mTorr, Cl_2 유량은 5 sccm 그리고 BCl_3 유량은 20 sccm의 조건에서 RF 전력을 100 및 150 W로 변화시켜 식각을 실시하였다. 실험 결과 RF 전력이 100 W일 때 PR의 식각율은 82 nm/min을 얻었으며, RF 전력이 150 W일 때 PR의 식각율은 113 nm/min을 얻었다. 이러한 PR의 식각 실험 결과를 그림 4에 보였다.

PR을 BCl_3 만으로 식각을 실시하였을 경우에는 PR의 식각율과 GaN의 식각율이 약 1 : 1의 결과를 보였다. 따라서 PR의 도포두께는 식각 하고자 하는 GaN 웨이퍼의 두께와 같거나 커야한다. 또한, Cl_2/BCl_3 혼합가스를 이용한 GaN 웨이퍼의 식각시에는 식각 하고자 하는 GaN 웨이퍼 보다 PR을 두껍게 도포 하여야 한다.

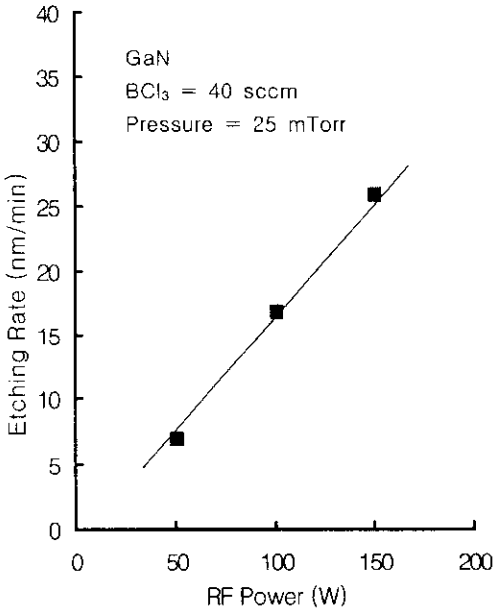


그림 1. RF 전력 변화에 따른 GaN의 식각율 변화

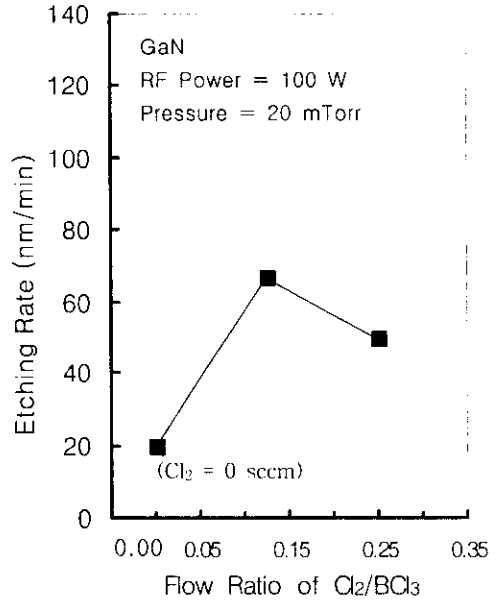


그림 3. Cl₂/BCl₃ 혼합비에 따른 GaN 식각율 변화

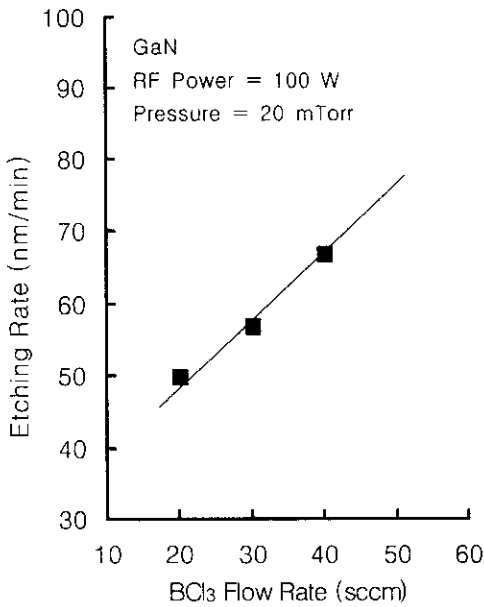


그림 2. BCl₃와 Cl₂ 혼합가스에 대한 GaN 식각율 변화

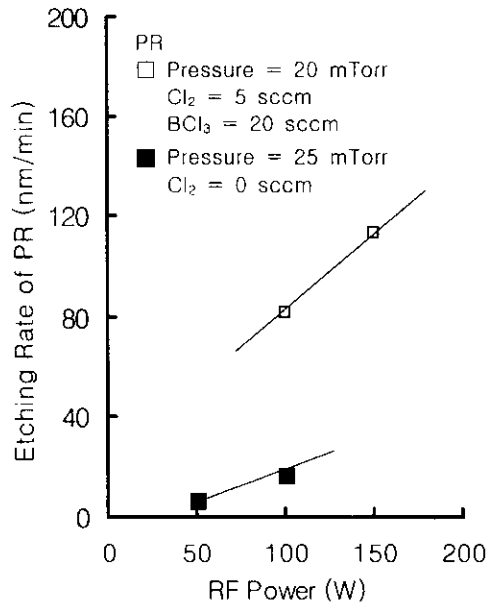


그림 4. RF 전력 변화에 따른 PR의 식각율 변화

III. 결 론

RF 전력에 따른 GaN의 식각율은 챔버압력 25 mTorr, BCl₃ 유량 40 sccm의 조건에서 RF 전력이 100 W일 때 17 nm/min을 얻었다. BCl₃의 유량에 따른 식각율은 RF 전력 100 W, 챔버압력 20 mTorr, Cl₂ 유량 5 sccm의 조건에서 BCl₃ 유량이 40 sccm일 때 65 nm/min을 얻었다. Cl₂/BCl₃ 혼합 가스 비율에 따른 식각율은 Cl₂ 유량을 5 sccm으로 고정하고 BCl₃ 유량을 변화시켰을 때 RF 전력 100 W 및 챔버압력 20 mTorr의 조건에서 혼합비가 0.25일 때 50 nm/min을 얻었다. RF 전력에 따른 PR의 식각율은 챔버압력 25 mTorr, Cl₂ 유량 0 sccm 및 BCl₃ 유량 40 sccm의 조건에서 RF 전력이 100 W일 때 15 nm/min을 얻었다. 이러한 PR의 식각율은 같은 조건에서의 GaN 웨이퍼 식각율과 약 1 : 1의 결과를 얻어, 원하는 GaN 패턴을 얻기 위해서는 식각 되는 GaN의 두께와 크거나 같은 PR의 도포가 요구된다. 또한, 챔버압력 20 mTorr, Cl₂ 유량 5 sccm 및 BCl₃ 유량 20 sccm의 조건에서 RF 전력이 100 W일 때 82 nm/min을 얻었다. 이러한 PR의 식각율은 같은 조건에서의 GaN 웨이퍼 식각율보다 큰 결과를 얻어, 원하는 GaN 패턴을 얻기 위해서는 식각되는 GaN의 두께보다 두꺼운 PR의 도포가 요구된다.

본 논문에서는 GaN RIE에 영향을 끼치는 각종 변수를 최적화하기 위하여 식각 실험을 실시하였

다. 이러한 식각 실험 결과를 표 1에서 다른 논문 결과와 비교하였다.

[* 본 연구는 '97 정보통신부 산·학·연 공동기술 개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었음.]

참 고 문 헌

- [1] M. E. Lin, Z. F. Fan, Z. Ma, L. H. Allen, and H. Morkoç, Appl. Phys. Lett., 64 (1994) 887
- [2] H. Lee, D. B. Oberman, and J. S. Harris, Jr., Appl. Phys. Lett., 67 (1995) 1754
- [3] G. F. McLane, L. Casas, R. T. Lareau, D. W. Eckhart, C. B. Vartuli, S. J. Pearton, and C. R. Abernathy, J. Vac Sci. Technol., A 13 (1995) 724
- [4] W. C. Hughes, W. H. Rowland, Jr., M. A. L. Johnson, J. W. Cook, Jr., and J. F. Schetzina Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 395 (1996) 757
- [5] S. J. Pearton et al., "Dry etching of thin film InN, AlN and GaN," Semicond. Sci. Tech., vol 8. pp. 310-312. 1993.
- [6] M. Asif Khan et al., "characteristics of chemically assisted ion beam etching of gallium nitride", Appl. phys. Lett, 65(7), pp. 889-891, 1994.

표 1. GaN 식각율 비교

Reference	Process	Etching Rate
[1]	BCl ₃ RIE : RF : 200W, Pressure : 10mTorr Flow Rate : 40sccm	51 nm/min
[5]	Cl ₂ /H ₂ ECR : Cl ₂ /H ₂ : 10/15sccm RF : 200W Pressure : 1mTorr	20 nm/min
[6]	Cl ₂ CAIBE : Beam Energy :500eV Ar ion beam current : 0.6mA/cm ² Sub Temp : 200°C Flow rate : 30sccm	210 nm/min
This paper	BCl ₃ RIE : RF : 100W, Pressure : 25mTorr, Flow rate : 40sccm, Sub Temp : RT	17 nm/min
	Cl ₂ /BCl ₃ RIE : RF : 100W, Pressure : 20mTorr BCl ₃ flow rate : 40sccm, Cl ₂ flow rate : 5sccm, Sub Temp : RT	67 nm/min